

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-283798  
(43)Date of publication of application : 07.10.1994

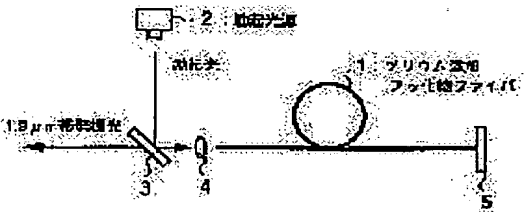
(51)Int.Cl. H01S 3/17  
G02B 6/00  
H01S 3/094  
H01S 3/121

(21)Application number : 05-071565 (71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>  
(22)Date of filing : 30.03.1993 (72)Inventor : YAMAMOTO TAKASHI  
MIYAJIMA YOSHIAKI  
KOMUKAI TETSUO  
SUGAWA TOMONORI

(54) FIBER LASER AND OPTICAL FIBER AMPLIFIER

(57)Abstract:

PURPOSE: To efficiently oscillate 1.9μm band light by using a fluoride fiber whose core contains thulium as a gain medium and using a pumping beam which has a specific wavelength.  
CONSTITUTION: A pumping beam, which is oscillated by a color center laser 2 and have a wavelength range of 1.55-1.65μm, are reflected by a dichroic mirror 3 to be applied on the one edge of an optical fiber 1 through a condenser lens 4 and are permitted to enter a laser resonator. Thulium ions are present in the core area of the fluoride optical fiber 1, the thulium ions which are at 3H6 level are bumped once to a level of 3H4 by the pumping beam and are returned to the 3H6 level. At that time, light which have a wavelength of 1.9μm band and have energy that equals to the energy difference between the 3H4 level and the 3H6 level is emitted. The beam is emitted from the other edge of the optical fiber 1, reflected by the mirror 5 to be directed to the fiber 1 again and a beam with wavelength of 1.9μm band is emitted. Thus, the high- power and highly efficient fiber laser with a wavelength of 1.9μm band is provided.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 22.05.1995  
[Date of sending the examiner's decision of rejection] 07.10.1997  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-283798

(43) 公開日 平成6年(1994)10月7日

(51) Int. Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H O 1 S	3/17	8934-4 M		
G O 2 B	6/00	3 7 6 B 7036-2 K		
H O 1 S	3/094			
	3/121	8934-4 M		
		8934-4 M	H O 1 S	3/094 Z
審査請求	未請求	請求項の数 2	O L	(全7頁)

(21) 出願番号 特願平5-71565

(22) 出願日 平成5年(1993)3月30日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 山本 貴司

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 宮島 義昭

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 小向 哲郎

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本  
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 秋田 収喜

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ファイバレーザ及び光ファイバ増幅器

(57) 【要約】

【目的】 1.9  $\mu\text{m}$  帯の光の発振を高効率で行うファイバレーザ及び光ファイバ増幅器を得る。

【構成】 ファイバレーザ及び光ファイバ増幅器において、トリウム (Tm) をコアに添加したフッ化物ファイバを利得媒質とし、励起光として1.55  $\mu\text{m}$  ~ 1.75  $\mu\text{m}$  の波長を有する光を用いる。

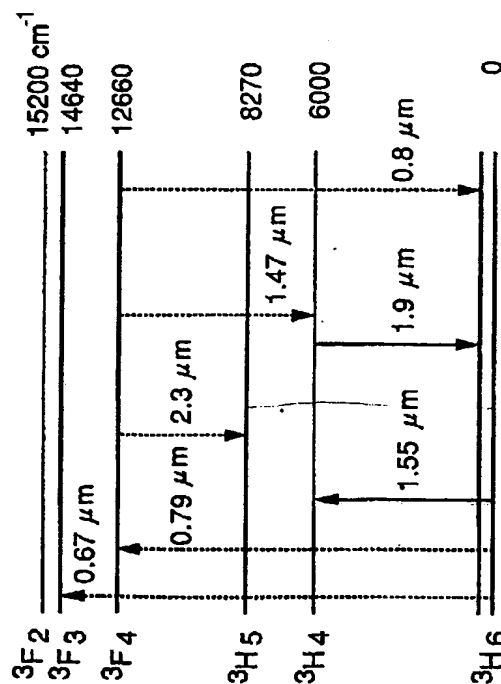


図1. Tmイオンのエネルギー準位と1.9  $\mu\text{m}$ 遷移

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 希土類元素をコアに添加した光ファイバを利得媒質としたファイバレーザにおいて、前記光ファイバのコアにトリウムを添加し、励起光として波長1.55～1.75  $\mu\text{m}$ の光を用いたことを特徴とするファイバレーザ。

【請求項2】 希土類元素をコアに添加した光ファイバを利得媒質とし、これに励起光と信号光とを合波して入射し、信号光を増幅する光ファイバ増幅器において、前記光ファイバのコアにトリウムを添加し、励起光として波長1.55～1.75  $\mu\text{m}$ の光を用いたことを特徴とする光ファイバ増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ファイバレーザ及び光ファイバ増幅器に関するもので、希土類、特にトリウムをコアに添加した光ファイバを利得媒質としたファイバレーザ及び光ファイバ増幅器に適用して有効な技術に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 図1はフッ化物ガラス中のトリウムイオンのエネルギー準位図であり、図1中の各エネルギー準位の右側にエネルギー値を、図1中の各エネルギー準位の左側に各準位の名称を、矢印に付与された数字は各矢印の遷移が生じたときに吸収(図1中、上向きの矢印に相当する)、または放出(図1中、下向きの矢印に相当する)される光の波長をそれぞれ示す。ただし、エネルギーの単位は、波数単位を基本とした1/cm(分光学で言うと、K(カイザー)に相当する)で表し、エネルギー準位の名称は、Russell-Saundersの表記法(参照文献: G. Herzberg著、堀健夫訳“原子スペクトルと原子構造”丸善株式会社)にもとづくものであり、アルファベットの太文字は合成軌道角運動量を、上付きの添数字は電子の全スピン角運動量にもとづくスペクトル項の多重度を、下付きの添数字は全角運動量をそれぞれ表すものである。なお、 $^3\text{H}_6$ 準位は、結晶電場によって生じるシュタルク効果により、縮退していた準位が分裂して広がった幅のある準位となっている。

【0003】 トリウム(Tm)をコアに添加したフッ化物ファイバにおいては、コア中のトリウムイオンの図1中の $^3\text{H}_4$ - $^3\text{H}_6$ 遷移(トリウムイオンのエネルギーが $^3\text{H}_4$ 準位から $^3\text{H}_6$ 準位に移ることを表すものとし、以下、この表記法に従う。)に起因する蛍光が見出されており、この遷移によって生じる光の波長は1.9  $\mu\text{m}$ 帯(1.6～2.0  $\mu\text{m}$ の波長範囲)に相当する。従来は、 $^3\text{H}_6$ 準位にあるトリウムイオンのエネルギーを波長0.67  $\mu\text{m}$ の励起光で $^3\text{F}_3$ 準位に励起する方法(以下、0.67  $\mu\text{m}$ 励起と称する)や、波長0.79  $\mu\text{m}$ の励起光で $^3\text{F}_4$ 準位に励起する方法(以下、0.79  $\mu\text{m}$ 励起と称する)において、前記した1.9  $\mu\text{m}$ 帯の光の発振が確認

されていた。しかしながら、これらの波長の励起光を用いると、 $^3\text{F}_4$ - $^3\text{H}_6$ 遷移に起因する波長0.8  $\mu\text{m}$ の光の発振(以下、0.8  $\mu\text{m}$ 発振と称する)が容易に起こり、これが、波長1.9  $\mu\text{m}$ 帯の光の発振を抑制するため、1.9  $\mu\text{m}$ 帯の光を高効率で発振することは困難であった。

【0004】 そこで、従来の1.9  $\mu\text{m}$ 帯発振においては、ファイバレーザ共振器ミラーの反射率及び透過率の波長依存性を最適化することにより、 $^3\text{F}_4$ - $^3\text{H}_6$ 遷移に起因する0.8  $\mu\text{m}$ 発振を抑制し、かつ、1.9  $\mu\text{m}$ 帯発振と同時に $^3\text{F}_4$ - $^3\text{H}_4$ 遷移に起因する波長1.47  $\mu\text{m}$ 帯の光、あるいは $^3\text{F}_4$ - $^3\text{H}_5$ 遷移に起因する波長2.3  $\mu\text{m}$ 帯の光を発振することにより、1.9  $\mu\text{m}$ 帯発振の効率の向上を図っていた。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、前記従来のファイバレーザ及び光ファイバ増幅器においては、0.67  $\mu\text{m}$ もしくは0.79  $\mu\text{m}$ の波長を有する励起光で $^3\text{H}_6$ 準位から $^3\text{F}_3$ 準位もしくは $^3\text{F}_4$ 準位に励起して1.9  $\mu\text{m}$ 帯の発振光を得ていたが、励起光と発振光との波長差が大きいため、1.9  $\mu\text{m}$ 帯の波長を有するレーザ光の発振効率はさほど高くないという問題があった。例えば、R. M. Percival等の報告によると、励起光の波長を0.79  $\mu\text{m}$ とした場合、スローブ効率38%程度である。(Electronics letters 1992 vol. 28 No. 10 pp1866-1868)。

【0006】 よって、本発明は、前記問題点を解決するために成されたものであり、本発明の目的は、1.9  $\mu\text{m}$ 帯の光の発振を高効率で行うファイバレーザ及び光ファイバ増幅器を提供することにある。

【0007】 本発明の前記並びにその他の目的及び新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかにする。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】 前記目的を達成するために、本発明は、ファイバレーザ及び光ファイバ増幅器において、トリウム(Tm)をコアに添加したフッ化物ファイバを利得媒質とし、励起光として1.55～1.75  $\mu\text{m}$ の波長を有する光を用いることを特徴とするものであり、従来の方法とは励起光の波長が異なる。

## 【0009】

【作用】 前述の手段によれば、図1中の $^3\text{H}_6$ - $^3\text{H}_4$ 遷移に起因する1.55  $\mu\text{m}$ 帯(1.55～1.75  $\mu\text{m}$ の波長範囲)の励起光で、フッ化物ファイバのコア中のトリウム三価イオンを励起することにより、Tmイオンのエネルギーは $^3\text{H}_4$ - $^3\text{H}_6$ 遷移の上準位である $^3\text{H}_4$ 準位に直接励起されるので、0.67  $\mu\text{m}$ 励起や0.79  $\mu\text{m}$ 励起の場合に生じていた0.8  $\mu\text{m}$ 発振を抑制し、しかも、1.9  $\mu\text{m}$ 帯発振と同時に波長1.47  $\mu\text{m}$ 帯あるいは2.3  $\mu\text{m}$ 帯の発振を起こす必要がなくなる。また、励起光と

発振光の波長差が小さくなる。

【0010】これにより、1.9  $\mu\text{m}$ 帯の光の発振を高効率で行うファイバレーザ及び光ファイバ増幅器を提供することが可能となる。

【0011】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を参照して詳細に説明する。なお、実施例を説明するための全図において、同一機能を有するものは同一名称並びに同一符号を付与し、その繰り返しの説明は省略する。

【0012】（実施例1）図2は本発明による実施例1のファイバレーザの構成を示す図であり、1は利得媒質としてのトリウム添加フッ化物光ファイバ、2は励起光源としてのNaClカラーセンタレーザ、3はダイクロイックミラー、4は集光用レンズ、5はミラーである。前記光ファイバ1の一端は、反射率90%以上のミラー5に突き合わせており、レーザ共振器はミラー5と光ファイバ1の集光用レンズ4側の一端面（反射率は約4%）とから構成されている。なお、1.55  $\mu\text{m}$ 帯の光を発振する励起光源2としては、半導体レーザやEr添加ファイバレーザ（発振波長範囲は1.52~1.58）を用いることもできる。

【0013】以下、本実施例1のファイバレーザの動作を簡単に説明する。カラーセンタレーザ2は波長範囲1.50~1.65  $\mu\text{m}$ にある励起光を発振し、この励起光は、ダイクロイックミラー3で反射され、集光用レンズ4を経て光ファイバ1の一端面に入射して、レーザ共振器の内部に入る。フッ化物光ファイバ1のコア領域内にはトリウムイオンが存在しており、 $^3\text{H}_6$ 準位にあるトリウムイオンは、この励起光により一旦 $^3\text{H}_4$ 準位に励起されるが、再び $^3\text{H}_6$ 準位に戻る。この時、 $^3\text{H}_4$ 準位と $^3\text{H}_6$ 準位とのエネルギー差に等しいエネルギーを有する光、すなわち、波長1.9  $\mu\text{m}$ 帯の光を放出する。このようにして発生した光は、光ファイバ1の他端を出射すると、反射率90%以上のミラー5で反射され、再び光ファイバ1に入射すると、前記したのと同様の機構により、再び波長1.9  $\mu\text{m}$ 帯の光を放出する。この放出光は、光ファイバ1の集光用レンズ4側の一端面に到達し、一部はこの端面を透過し、残りはこの端面で反射される。この端面を透過し、光ファイバ1を出射した波長1.9  $\mu\text{m}$ 帯の光の内、波長1.55  $\mu\text{m}$ 帯にない光のみが、ダイクロイックミラー3を透過してファイバレーザの外部に出射する。また、光ファイバ1の集光用レンズ4側の一端面で反射された光は、再び光ファイバ1内で前記したのと同様の機構により、再び波長1.9  $\mu\text{m}$ 帯の光を放出する。このようにして、連鎖反応的に波長が一定で位相の揃ったレーザ光がファイバレーザの外部に発振される。

【0014】以上の説明からわかるように、本実施例1のファイバレーザによれば、次のような効果を得ることができる。

【0015】すなわち、図1中の $^3\text{H}_6$ - $^3\text{H}_4$ 遷移に起因する1.55  $\mu\text{m}$ 帯の励起光で、フッ化物ファイバのコア中のトリウム三価イオンを励起することにより、Tmイオンのエネルギーは $^3\text{H}_4$ - $^3\text{H}_6$ 遷移の上準位である $^3\text{H}_4$ 準位に直接励起されるので、0.67  $\mu\text{m}$ 励起や0.79  $\mu\text{m}$ 励起の場合に生じていた0.8  $\mu\text{m}$ 発振を抑制し、しかも、1.9  $\mu\text{m}$ 帯発振と同時に波長1.47  $\mu\text{m}$ 帯あるいは2.3  $\mu\text{m}$ 帯の発振を起こす必要がなくなる。また、励起光と発振光の波長差が小さくなる。

【0016】したがって、本実施例1のファイバレーザは1.9  $\mu\text{m}$ 帯の光の発振を高効率で行うことができる。

【0017】以下では、前記した効果が実験によって定量的に確認されたことを説明する。

【0018】図3は、実施例1の構成における波長1.9  $\mu\text{m}$ の発振光出力の励起光強度依存性を、励起光の波長をパラメータとして示す。利得媒質として用いたTm添加フッ化物ファイバのコア径、カットオフ波長、トリウム濃度、ファイバ長はそれぞれ11  $\mu\text{m}$ 、2.1  $\mu\text{m}$ 、2000 ppm、9mである。

【0019】励起光波長1.55  $\mu\text{m}$ の場合のしきい値は37 mW、スロープ効率は56%、励起光波長1.60  $\mu\text{m}$ の場合のしきい値は31 mW、スロープ効率は73%、励起光波長1.65  $\mu\text{m}$ の場合のしきい値は24 mW、スロープ効率は74%であった。励起光波長1.60  $\mu\text{m}$ 、励起光強度104 mWにおいて、最高出力53 mWが得られた。以上のように、本実施例1による効果が定量的に確認された。

【0020】（実施例2）図4は本発明による実施例2の1.9  $\mu\text{m}$ 帯波長可変ファイバレーザの構成を示す図であり、6は誘電体多層膜狭帯域フィルタである。本実施例2の1.9  $\mu\text{m}$ 帯波長可変ファイバレーザの基本的な構成は、図2に示した実施例1のものと同様であるが、共振器内に別途コリメート用の集光用レンズ4と波長選択素子としての誘電体多層膜狭帯域フィルタ6を配置し、発振波長をチューニングする構成となっている。波長選択素子としては、複屈折フィルタやプリズムを用いることもできる。動作も基本的には実施例1のものと同様であるが、ファイバレーザで発生した1.9  $\mu\text{m}$ 帯の光の内、特定の波長を有する光のみが、誘電体多層膜狭帯域フィルタ6を透過し、その他の波長の光は全て誘電体多層膜狭帯域フィルタ6で反射される。

【0021】ここで、誘電体多層膜狭帯域フィルタ6表面とこれに入射するレーザ光との角度を変えることにより、誘電体多層膜狭帯域フィルタ6を透過する光の波長、すなわち、発振波長を変えることができる。例えば、本実施例2においては、図5に示すような透過特性を有する誘電体多層膜狭帯域フィルタ6を用いることにより、1.892~1.928  $\mu\text{m}$ の範囲の波長を有するレーザ光を発振することが確認された。

【0022】なお、トリウム添加ファイバの蛍光スペクトルの波長は、 $1.88 \sim 1.98 \mu\text{m}$ の範囲に広がっているため、この波長域において動作する波長選択素子を用いれば、この波長域内にある所望の波長の光だけを選択して透過し、レーザ光として発振させることが可能である。

【0023】以上の説明からわかるように、本実施例2の構成の $1.9 \mu\text{m}$ 帯波長可変ファイバレーザによれば、明らかに、実施例1と同様の効果が得られることはいうまでもない。特に、本実施例2においては、ファイバレーザの外部に発振するレーザ光の波長を蛍光スペクトルの波長域 $1.88 \sim 1.98 \mu\text{m}$ の範囲で任意に設定できる。

【0024】（実施例3）図6は本発明による実施例3のQスイッチ動作型ファイバレーザの構成を示す図であり、7はメカニカルチョッパーである。本実施例3のQスイッチ動作型ファイバレーザの基本的な構成は、図2に示した実施例1のものと同様であるが、共振器内に、実施例2と同様に別途コリメート用の集光用レンズ4と、Qスイッチ用シャッターとしてのメカニカルチョッパー7を配置している。Qスイッチ用シャッターとしては、音響光学素子、電気光学素子等を用いることもできる。動作も基本的には実施例1のものと同様であるが、トリウムイオンが $^3\text{H}_4$ の励起状態にある時間中（数ミリ秒）、メカニカルチョッパー7のシャッターを閉じた状態にすることにより、共振器を構成しない状態にして、光ファイバ1内のトリウムイオンを励起し続けてエネルギーを蓄積する。この状態から急にシャッターを開いて、シャッターが閉じた状態にあった時間と同程度の時間中、共振器を構成する。以降、この操作を繰り返すことにより、時間パルス幅が小さく、出力の大きい $1.9 \mu\text{m}$ 帯光パルスを一時的な時間間隔で発生させる。

【0025】以上の説明からわかるように、前記実施例3の構成のQスイッチ動作型ファイバレーザによれば、明らかに、実施例1と同様の効果が得られることはいうまでもない。

【0026】（実施例4）図7は本発明による実施例4の $1.9 \mu\text{m}$ 帯光ファイバ増幅器の構成を示す図であり、基本的な構成は、図2に示した実施例1のものと同様である。本実施例4の $1.9 \mu\text{m}$ 帯光ファイバ増幅器は、トリウム添加フッ化物光ファイバ1の集光用レンズ4と対面しない側から、信号光がトリウム添加フッ化物光ファイバ1に入射するようになっている。したがって、動作も基本的には、実施例1のものと同様であるが、励起光の他に信号光によっても、光ファイバ1において新たに光を放出する構成となっている。信号光と光ファイバ1で発生した放光とを合波する合波素子には、ダイクロイックミラー3の代わりに $1.55/1.9 \mu\text{m}$ のWDM光ファイバカップラを用いることもできる。

【0027】図8は実施例4の $1.9 \mu\text{m}$ 帯光ファイバ増幅器における $1.9 \mu\text{m}$ 帯利得の励起光強度依存性を示すグラフであり、信号光源として、発振波長 $1.87 \mu\text{m}$ のTm添加フッ化物ファイバレーザを、励起光源として、発振波長 $1.57 \mu\text{m}$ のEr添加ファイバレーザを用いた。励起光を入射しないとき、Tmイオンの基礎吸収のため、 $21 \text{ dB}$ の信号光の損失であるが、励起光強度が $39 \text{ mW}$ 以上になると、正味の利得が正に達し、 $70 \text{ mW}$ で $18 \text{ dB}$ の正味の利得が得られた。

【0028】以上の説明からわかるように、本実施例4の $1.9 \mu\text{m}$ 帯光ファイバ増幅器によれば、次のような効果を得ることができる。

【0029】すなわち、実施例1で説明したのと同様の理由により、本実施例4の光ファイバ増幅器は、 $1.9 \mu\text{m}$ 帯の光の増幅を高効率で行うことができる。

【0030】以上、本発明を実施例にもとづき具体的に説明したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更しうることは言うまでもない。例えば、前記した実施例では、トリウムイオンのエネルギーを $^3\text{H}_4$ 準位へ励起する励起光の波長として $1.55$ 、 $1.57$ 、 $1.60$ 、 $1.65 \mu\text{m}$ の励起光を用いたが、本発明はこれに限定されるものではなく、 $1.55 \sim 1.75 \mu\text{m}$ の範囲の波長を有する光であればよい。

【0031】なぜなら、Tmイオン添加ファイバレーザの吸収スペクトルの測定値から、 $1.55 \sim 1.75 \mu\text{m}$ の範囲の波長を有する光は、十分効率良くTmイオンに吸収されると考えられるからである。なお、励起光の波長としては、 $1.7 \mu\text{m}$ の波長を有する光が最適である。

【0032】以上、本発明を実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更し得ることはいうまでもない。

【0033】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明によれば、波長 $1.9 \mu\text{m}$ 帯の高出力かつ高効率なファイバレーザ及び高効率な光ファイバ増幅器が実現できる。

【0034】また、本発明によるファイバレーザおよび光ファイバ増幅器の動作波長領域は、 $1.9 \mu\text{m}$ 帯の近傍にあるため、波長 $1.9 \mu\text{m}$ 帯の光に対して、石英系ファイバの最低損失値（波長 $1.55 \mu\text{m}$ において最低損失値をとり、その値は $0.154 \text{ dB/km}$ ）より十分低い損失値をもつレーザ媒体が将来開発された場合、本発明によるファイバレーザ及び光ファイバ増幅器とを組み合わせれば、超長距離伝送システムを構築することが可能になる。

【0035】また、 $1.9 \mu\text{m}$ 帯の光は水の吸収帯でもあるため、本発明によるファイバレーザ及び光ファイバ増幅器は、センサーや医療面への応用も期待される。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 フッ化物ガラス中のトリウム三価イオンのエネルギー準位と各エネルギー状態間の遷移とその遷移に伴って放出または吸収される光の波長を示す図、

【図2】 本発明における実施例1のファイバレーザの概略構成を示す図、

【図3】 実施例1のファイバレーザの出力の励起光強度依存性を、励起光波長をパラメータとして示すグラフ図、

【図4】 本発明における実施例2の波長可変型ファイバレーザの概略構成を示す図、

【図5】 図4の誘電体多層膜狭帯域フィルタ6の透過

【図1】

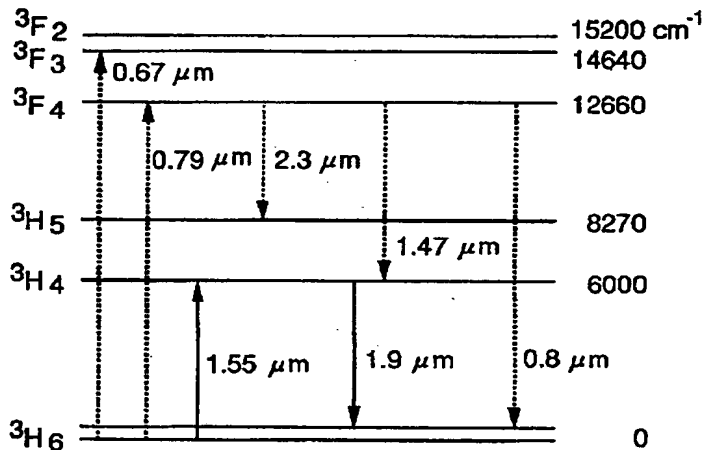


図1. Tmイオンのエネルギー準位と1.9 μm遷移

【図2】

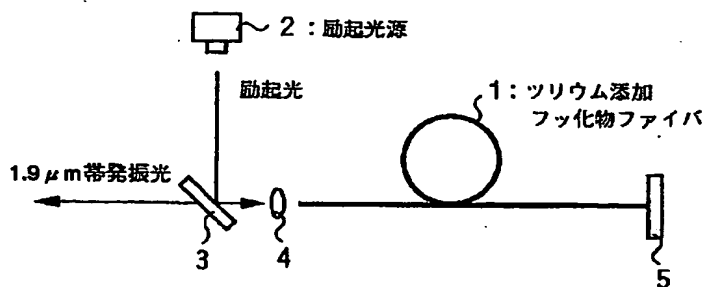


図2. Tmイオン添加フッ化物ファイバレーザ構成図

特性を示すグラフ図、

【図6】 本発明における実施例3のQスイッチ動作型ファイバレーザの概略構成を示す図、

【図7】 本発明における実施例4の光ファイバ増幅器の概略構成を示す図、

【図8】 実施例4の光ファイバ増幅器による信号光利得の励起光強度依存性を示すグラフ図、

## 【符号の説明】

1…トリウム添加フッ化物ファイバ、2…カラーセンタレーザ、3…ダイクロイックミラー、4…集光用レンズ、5…ミラー、6…誘電体多層膜狭帯域フィルタ、7…メカニカルチョッパー。

【図5】

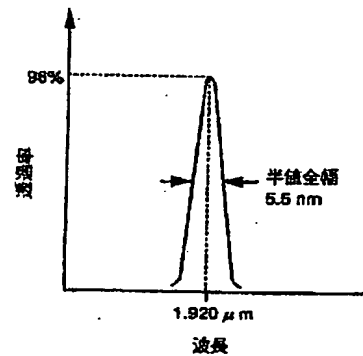
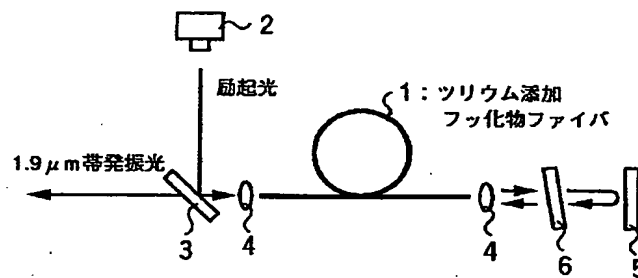


図5. 1.92 μm誘電体多層膜狭帯域フィルタ透過特性図

励起光強度 (mW)	1.55 $\mu\text{m}$ 出力 (mW)	1.60 $\mu\text{m}$ 出力 (mW)	1.65 $\mu\text{m}$ 出力 (mW)
20	0	0	0
30	0	0	0
35	0	0	5
40	2	5	10
45	5	10	15
50	8	15	22
55	12	20	28
60	15	25	32
65	18	28	37
70	22	30	40
75	25	35	45
80	28	40	50
85	32	45	55
90	35	50	60
95	38	55	65
100	40	60	70

【図 4】



【図 6】

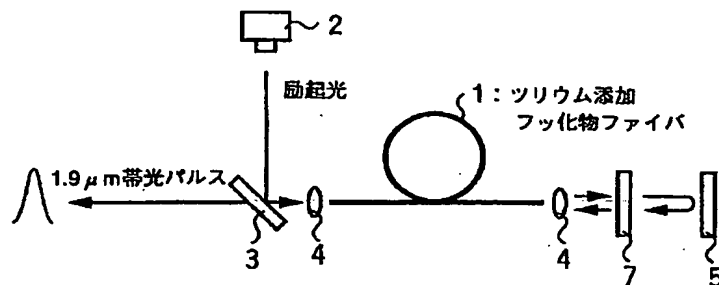


図6. QスイッチTmイオン添加フッ化物ファイバレーザ構成図



【図7】

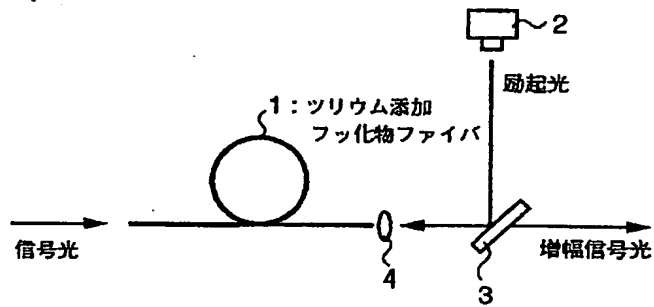


図7. Tmイオン添加フッ化物ファイバ増幅器構成図

【図8】

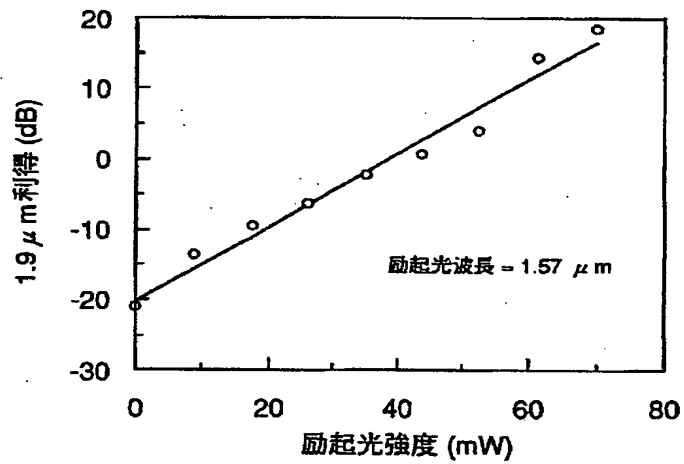


図8. 1.9 μm ファイバ増幅利得の励起光強度依存性

フロントページの続き

(72) 発明者 須川 智規  
 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
 本電信電話株式会社内